

第七届全国地基处理学术讨论会论文集

地基处理理论与实践

2002 兰州

主编 龚晓南 俞建霖



A1020702

中国水利水电出版社 

知识产权出版社 

内容提要

本书共收录论文 118 篇, 内容包括排水固结, 振密、挤密 (强夯、强夯置换、碎石桩), 灌入固化物 (深层搅拌法、高压喷射注浆法、灌浆法), 加筋 (土工合成材料), 低强度桩复合地基和刚性桩复合地基, 托换与纠倾, 桩基, 基坑围护, 一般理论及其他共 9 个专题。其内容反映了当前我国地基处理领域的主要成就和发展水平, 可供建筑、桥梁、隧道、公路、铁道、市政、港口和水利部门从事勘察、设计、施工、监理和科研的工程技术人员以及土木工程专业的师生参考。

责任编辑

司小友 邓金玲 王晓刚 等

图书在版编目 (CIP) 数据

地基处理理论与实践/龚晓南, 俞建霖主编. —北京: 中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2002
(第七届全国地基处理学术讨论会论文集)

ISBN 7-5084-1165-X

I. 地… II. ①龚…②俞… III. 地基处理—学术会议—文集 N. TU472-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 053365 号

第七届全国地基处理学术讨论会论文集

地基处理理论与实践

主编 龚晓南 俞建霖

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)
知识产权出版社 (北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号; 电话: 010-62024794)

新华书店经销

涿州市星河印刷厂印刷

规格: 787×1092 毫米 16 开 42.25 印张 1002 千字

2002 年 8 月第一版 2002 年 8 月第一次印刷

定价: 88.00 元

ISBN 7-5084-1165-X

TU·95

版权所有 盗版必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社退换

(邮政编码 100044)

第七届全国地基处理学术讨论会

(2002 兰州)

主办单位 中国土木工程学会土力学及岩土工程分会地基处理学术委员会

协办单位 兰州有色金属建筑研究院

会议组委会 (按姓氏笔画排列)

王兰民	王吉望	王志平	史存林	叶观宝	叶柏荣
白刚为	华锦耀	吕永平	孙年祥	朱宏	张永钧
张在明	李保欣	汪国烈	周建民	俞建霖	涂光社
龚晓南	彭大用	焦勇	韩丽霞	滕文川	潘秋元

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会 第三届地基处理学术委员会

顾 问 卢肇钧 曾国熙 冯国栋 蒋国澄 叶书麟

主 任 龚晓南

副主任 王吉望 史存林 叶柏荣 叶观宝 张在明 张永钧
彭大用 潘秋元

秘 书 俞建霖

委 员 (按姓氏笔画排列)

方永凯	王吉望	王 钊	王盛源	冯光愈	史存林
叶观宝	叶阳升	叶柏荣	邝健政	刘国楠	刘松玉
刘 毅	朱向荣	朱象清	吴廷杰	张永钧	张在明
张作瑁	张咏梅	张 金	张 敬	李耀良	杨守华
杨晓东	沙祥林	苏振明	陆贻杰	陆 新	陈如桂
陈国靖	陈 轮	陈高鲁	周玉印	周国钧	周国然
周洪涛	周载阳	罗宇生	郑尔康	郑 刚	侯伟生
俞建霖	施建勇	夏诗樑	涂光祉	袁内镇	贾庆山
顾湘生	高宏兴	常 璐	梁仁旺	阎明礼	龚一鸣
龚晓南	彭大用	曾昭礼	程 骁	谢永利	裘慰伦
赖正发	滕文川	滕延京	潘秋元	霍启联	

前 言

第七届全国地基处理学术讨论会于2002年8月19~25日在甘肃省兰州市西兰国际大酒店召开。会议由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会地基处理学术委员会主办,兰州有色金属建筑研究院协办。

本届会议是继第一届(上海宝钢,1986)、第二届(山东烟台,1989)、第三届(河北秦皇岛,1992)、第四届(广东肇庆,1995)、第五届(福建武夷山,1997)、第六届(浙江温州,2000)全国地基处理学术讨论会之后的又一次盛会。来自全国各行业的地基处理专家、学者、工程师、工程技术人员和有关厂家的代表会聚一堂,交流地基处理工程勘察、设计计算、施工技术、施工机械和现场测试等方面的理论和经验,介绍新材料、新产品和新工艺的开发和应用,讨论如何进一步发展和提高我国地基处理水平,更好地为国家经济建设服务。

本届讨论会应征论文的审查工作于2002年2月在杭州举行。铁道部第四勘测设计院软土地基研究所郑尔康、浙江大学龚晓南、徐日庆和俞建霖参加了论文审查工作。浙江大学岩土工程研究所硕士生金小荣为论文的征集做了许多工作,在此表示感谢。

会议共收到论文158篇,经审查后录用118篇,内容包括排水固结,振密、挤密(强夯、强夯置换、碎石桩),灌入固化物(深层搅拌法、高压喷射注浆法、灌浆法),加筋(土工合成材料),低强度桩复合地基和刚性桩复合地基,托换与纠倾,桩基,基坑围护,一般理论及其他共9个专题。论文集的内容反映了当前我国地基处理领域的主要成就和发展水平,可供同行们参考。限于我们的能力和水平,缺点和错误在所难免,希望作者和读者批评指正。

编 者

2002年8月

致 谢

第七届全国地基处理学术讨论会荣幸地得到以下单位的资助，特此表示感谢！

兰州有色金属建筑研究院

上海港湾工程设计研究院

福建省建筑科学研究院

甘肃省地震局

兰州有色冶金岩土工程总公司

天津大学地下工程研究所

西安建筑科技大学疑难工程研究所

甘肃省建筑基础工程公司第三分公司

白银惠通地质基础工程公司

兰州市安基岩土工程研究所

西安机械勘察院兰州分院

龙元建设集团股份有限公司

浙江浙峰工程咨询有限公司

目 录

前 言

第一篇 排 水 固 结

- | | | | | | | |
|----|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 3 | 真空排水预压加固软土地基的研究现状及展望 | 龚晓南 | 岑仰润 | 李昌宁 | | |
| 8 | 堆载预压地基处理试验研究 | 周洪涛 | 代 军 | 蒋笃恒 | 周传海 | |
| 15 | 在中心局部固结地基上改建大型油罐基础沉降分析 | | 傅晓红 | 何国富 | | |
| 25 | 真空排水预压法处理台州路桥污水处理厂大型刚性混凝土构筑物软土地基 | 王剑平 | 夏玉斌 | 李景林 | 侯红英 | 秦 焱 |
| 32 | 真空联合堆载加固软土地基 | 夏振军 | 邓小华 | 尹敬泽 | | |

第二篇 振密、挤密(强夯、强夯置换、碎石桩)

- | | | | | | | |
|----|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 41 | 强夯法在山区填土地基中的应用及检测 | 丁振洲 | 陆 新 | 郑颖人 | | |
| 46 | 孔内深层强夯 (DDC) 渣土桩在住宅小区工程中的应用 | | 陈 杰 | 邱 鸿 | | |
| 52 | 碾压地基试验研究 | | 孙年祥 | 谭炳浩 | | |
| 59 | 振冲碎石桩处理淤泥质土水罐地基工程实录 | | 齐俊修 | 刑守仁 | | |
| 65 | 振冲碎石桩在粉土地基中的应用 | 聂小勇 | 严洪龙 | 王焕珍 | | |
| 68 | 振动挤密砂石桩复合地基上部软弱层或夹层的处理方法及实效 | 蔡继武 | 丁建江 | 王建东 | 夏才安 | 邱良佐 |
| 74 | 挤密碎石桩处理高速公路路基的施工工艺 | 杨振海 | 陈望春 | 彭亦华 | 叶观宝 | 徐 超 |
| 79 | 振动挤密砂桩处理地基地面沉降估算 | | 戴金林 | 蒋 磊 | | |
| 84 | 人工神经网络在夯扩挤密桩复合地基承载力预测中的应用 | | 贾立宏 | 陈志敏 | | |

第三篇 灌入固化物

(深层搅拌法、高压喷射注浆法、灌浆法)

- | | | | | | | | | |
|-----|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 95 | 深层搅拌桩在深厚软土地区的应用 | 赵志锐 | 董 柱 | 祖溶谦 | 赖正发 | | | |
| 101 | 水泥搅拌法在非软土地基处理中的应用 | | 张建青 | 刘焕存 | | | | |
| 106 | 纳米水泥土试验分析 | | 王立峰 | 朱向荣 | | | | |
| 111 | 水泥土搅拌桩的布桩艺术 | | | 王仁兴 | | | | |
| 115 | 粉喷桩有关问题的探索和研究 | 黄富华 | 顾祝平 | 谢镇涛 | 周泊锟 | 王文德 | 陈迪波 | 徐佩忠 |
| 124 | 软土地区老罐改扩建工程中有关不均匀地基均一化处理方法的可行性 | | | | | | | 张连中 |
| 130 | 水泥搅拌桩桩头硬芯的成因及防治 | | | 陈晓汀 | 张忠苗 | | | |
| 134 | 多头小直径深层搅拌桩截渗墙设计与检测 | | 瞿剑华 | 杨 勇 | 白莉萍 | | | |
| 139 | 某抽水站挡洪堤渗透破坏分析与加固处理 | 王 伟 | 瞿剑华 | 储白露 | 董修新 | | | |

144	水泥喷粉桩的设计与施工					吕粤丹
148	国产三轴深搅机在砂性土中的施工技术	黄均龙	张冠军	丁存根		晋家明
153	水泥搅拌桩及复合桩在复杂软基中的应用			邓亚光		徐 政
159	浅析水泥粉喷桩复合地基沉降量计算及工程应用		李 明	王 春		李世奎
164	水泥粉体搅拌桩在沉井施工中的应用	聂小勇	严洪龙	陈雪仙	陈观胜	刘圣江
168	水泥土复合地基在底框结构中的应用和探讨			王云岗	金 坚	沈万岳
173	目前粉喷桩施工质量现状的一点分析				周荣官	陆鼎铭
179	深层水泥搅拌体强度及其质量评价			于志强	陈允进	苗中海
186	夯实水泥土桩在工程实例中的应用			周战胜	唐立宪	石 军
191	夯实水泥土桩桩身轴力测试方法的试验研究			杨志红	郭忠贤	王占雷
197	预制桩加固水泥土复合地基的应用				方德胜	徐新跃
202	一座导流闸闸基水泥土搅拌桩施工质量检测与评估分析				崔伯华	何开胜
207	注浆技术在地下连续墙槽壁稳定中的应用					谢 非
213	静压注浆结合树根桩技术在新疆某气田集气站地基处理中的应用					
		程知言	裘慰伦	张可能	龙建林	罗本家
217	静压注浆技术在某岩溶地区高速公路地基加固处理中的应用		黄泽安	程知言		奚小双
224	新二管法高压旋喷在回填块石地层中的试验	李和山	张 震	王圣忠		查振衡
229	金冠花园居住组团住宅楼软基高喷灌浆加固方案设计及施工					
		王洪恩	张兰州	张义东		姚顺章
235	动水下抛石填砂层的高喷防渗加固			姚顺章	张 震	查振衡
238	高压喷射注浆法在城市垃圾填埋场防渗工程中的应用					吴 祯
242	湿陷性黄土地基硅化加固				许 宏	许善分

第四篇 加筋（土工合成材料）

251	土工织物加筋地基承载力的可靠性分析	洪昌华	翁建煊	王小士
256	土工合成材料界面净剪应力分布及其影响因素	赵志川	王 斌	王立忠

第五篇 低强度桩复合地基和刚性桩复合地基

267	长短桩复合地基设计计算探讨	张先明	葛忻声	龚晓南	兰四清
272	沉降控制复合桩基理论在软土地基工程中的应用			严 平	王国光
277	CFG 桩复合地基在连排高层建筑地基处理中的应用				
		马 骥	张 震	张东刚	阎明礼
284	龙爪树 1~3 号高层住宅复合地基处理	邹忠刚	金玉东	张保庚	李冰岩
288	CFG 桩与石灰桩多元复合地基的应用		李红文	郑俊杰	贾 燎
292	螺旋钻孔压灌混凝土成桩技术在高层建筑中的应用				王维玉
297	静压小桩复合地基试验与应用	吴连祥	邵锦周	龚海斌	
303	短墩复合基础在小高层框架结构住宅中的应用				吴敏捷

第六篇 托 换 与 纠 倾

309	锚杆静压桩施工引起的挤土作用、拖带沉降与对策	周志道	周 寅	顾 宏	杜桑帆
315	某多层住宅的地基加固和顶升纠倾实例分析	谢新宇	张芳军	刘开富	卞守中
					潘秋元

320	大面积堆载导致厂房倾斜的基础加固	李旭照	郑俊杰
325	静压桩在某火车站站房装修地基加固工程中的应用	吕永平	孙 云

第七篇 桩 基

333	单桩竖向抗压静载荷试验自平衡测试法和传统测试法的对比	沈锦儒
338	钢桩单桩竖向静载荷试验最大荷载和承载力确定的方法与程序	艾传井 尚思良 贺 明
343	扩底注浆桩应用实践	李永伟 李文和 史毅清
349	桩的破坏性试验研究	赵占山 张 武
353	无桩靴夯扩桩在杭州三里亭小区建设中的应用	康征龙 钱国伟
356	小水门大桥桩基方案的确定与施工	郑 放 阮建中 周 霄 林福生 徐 正
361	粉土地基中钻孔灌注扩底桩的工程实践与几点认识	丁志浩 夏才安 丁建江 邱良佐
366	某工程预应力混凝土管桩质量评价及处理	周绍缨 雷元新

第八篇 基 坑 围 护

373	基坑降水对周围地表沉降的影响分析	谢康和 应宏伟 杨 伟 胡安峰 徐 洋
378	土钉墙在深基坑围护工程中的应用	余忠祥 朱普遍 王 震 徐水平
384	土钉墙技术在广电中心大厦的应用	王国芳 唐道华
388	土钉支护工程应用程序开发	王维玉 顾 彬 王志来
395	回填土地土钉墙边坡加固的应用	盛晓红 柴世雄
401	复合型土钉墙在基坑支护中的应用	吴贤文
406	关于锚杆(管)复合土钉墙支护技术的应用	林炎飞 徐 力 郭 健 徐鹏如
413	水泥粉喷桩在华德利玻璃棉主厂房深基坑支护工程中的应用	李 明 王 春 綦连明 杨学彬
418	深层搅拌法应用管道开挖支护工程实例	李书伟 刘 毅 陆贻杰 付文光
422	水泥土支挡结构整体稳定性的指标换算分析	张旭辉 郭中光 苏志轩 寿明灿
426	南京若干深基坑事故分析	裘慰伦
429	沉管灌注桩在基坑支护中的若干应用措施	王良岗
433	深基坑开挖变形引起临近建筑物、地表沉陷分析	陈继芳
440	深基坑支护结构中圆拱的内力计算	李 敏
445	小型钢管桩在基坑支护特殊条件下的应用	吴平浩 郑俊杰
449	浙江世纪广场深基坑稳定及变形控制	金文莉 刘兴旺 李冰河
455	杭州环城北路枢纽大楼深基坑支护设计与施工监测	黄伟烈 陈凯宇 应宏伟 徐浩峰
461	杭州大剧院动力房深基坑变形及稳定控制	俞顺年 来盾矛 俞建霖 龚晓南
467	地下室半逆作法施工实例	华锦耀 袁国焕
474	杭州西湖教育大厦基坑围护加固工程实例分析	钱继东 徐向军
479	工程桩、承台、地基梁体系作为基坑支护的尝试	苏振明
484	深沉井施工实例	方 良

第九篇 一般理论及其他

491	高速公路软基处理优化设计研究	叶观宝 兰宏亮 赵建忠 徐 超 高彦斌
-----	----------------	---------------------

496	多层砖混住宅复合地基沉降变形特点及发展规律	王恩远	梁瑞琳	刘熙媛	任文杰
502	复合双层地基的概念及应用		徐 洋	谢康和	卢廷浩
507	漫谈复合地基补强		邵锦周	吴连祥	龚海斌
509	地基与基础协同作用分析在地基处理中的应用			周玉凤	李洪会
515	复合地基沉降可靠度分析	龚晓南	马克生	白晓红	梁仁旺
521	喀斯特地基处理综述			巨玉文	张小菊
526	变位方式对挡土墙被动土压力影响的试验研究	陈页开	徐日庆	郭 峰	孙 康
538	NATURAL FREQUENCIES OF SHALLOW ARCHES RESTING ON TWO-PARAMETER ELASTIC FOUNDATIONS			杨仲轩	龚晓南
	Byoung Koo Lee Guangfan Li Sang Jin Oh and Tae Eun Lee				
549	湿陷性黄土地基处理				吕粤丹
556	广园东快速路二期工程地基处理优化设计			徐敬业	郭全元
559	某高速公路滑塌软基的微结构与物理力学性质的初步研究			黄 腾	孙 宁
565	康王路下穿上下九路隧道软土路基处理			安关峰	郭晓东
570	典型岩溶地区基础设计与处理	赵志锐	李开文	熊南杰	赖正发
575	人工神经网络在高速公路沉降预测中的应用				
	叶观宝 赵建忠 司明强	徐 超	高彦斌	白 航	
581	利用沉降观测结果推算复合地基最终沉降量的方法研究		刘熙媛	王恩远	王育茜
584	水平荷载作用下桶形基础的性状	施晓春	许祥芳	裘 滨	龚晓南
588	矩形沉井后背墙最大反力及顶管最大顶力的计算				
	冯海宁 龚晓南 徐日庆	肖 俊	罗曼慧	金自立	
595	基础遇防空洞的若干处理措施			励慧杰	应颂勇
598	岩土工程勘察中对于填土坑的处理				李 立
603	预应力锚索在高速公路高边坡加固中的应用		李大勇	乔卫国	吕爱钟
608	苏州乐园人工瀑布后边坡稳定处理			金丽军	张利永
612	临湖丘陵区滑坡的类型、成因及对策研究				高加成
619	综合楼工程质量事故实例分析			吴宇亮	陈继芳
623	喀斯特地区地基抗滑移验算的限值确定		郭 峰	孙 康	吴洪词
628	泵送基础混凝土施工技术				吴小平
632	浅析粉喷桩施工质量监理	王 春	李 明	高向阳	尚耀宪
635	玉环及周边地区软粘土物理力学性质	姜建芳	赵海洋	詹一琴	徐红兵
640	南阳市膨胀土湿度系数的研究及应用				刘尚蔚
644	旧址场地的特征和勘察注意事项				郑俊杰
649	GIS 在斜坡工程中的应用探讨		姜 舟	朱益军	杜时贵
					蒋 函

第一篇

排水固结

真空排水预压加固软土地基的研究现状及展望

龚晓南 岑仰润 李昌宁

(浙江大学岩土工程研究所, 杭州, 310027)

◆ 摘要 ◆ 本文在回顾真空排水预压法在国内外发展历史的基础上, 对现有真空排水预压加固软土地基研究和工程实践情况进行了总结, 对真空排水预压加固软土地基的研究作了若干分析及展望。

一、引言

真空排水预压最早由瑞典皇家地质学院杰尔曼(W. Kjellman)于1952年提出, 1958年美国费城机场首次采用真空井点降水与砂井相结合的工法, 处理飞机跑道扩建工程的地基问题, 随后日本、芬兰、苏联、法国、美国、瑞典等地都有该工法的应用报道, 但由于抽真空设备效率、气水分离技术、密封技术等关键问题未能很好解决, 很长一段时间该工法未能得到广泛应用。我国早在50年代就开始了对该工法的研究, 但当时也没能使之成功用于现场地基的加固。20世纪80年代, 我国交通部一航局、天津大学、南京水利科学院土工等单位对真空排水预压加固软土地基在施工工艺和设计方法等方面做了不少工作, 使其在工程应用中取得成功, 此后该工法得到很大的发展。相关资料详见参考文献[1~8]。

目前, 国内外真空排水预压加固软土地基应用日益增多, 在机理研究、施工工艺、设计理论等方面也得到了一些发展, 但理论研究却远远落后于工程实践, 制约了该工法的进一步发展和工程应用, 已引起学术界和工程界的普遍关注。

二、真空排水预压研究的两个基本问题^[9~20]

堆载预压有两个最基本的问题: 一是最终效果问题, 堆载预压的最终效果由附加应力场决定, 附加应力场的计算采用弹性力学的理论; 二是预压时变形、孔压、有效应力、强度参数等随时间变化情况, 这属于一般情况下的固结问题, 可以以太沙基及比奥固结理论为基础进行分析。同样, 真空排水预压也有这两个最基本的问题需要解决。

国外进行的机理研究, 侧重于解决真空排水预压的最终效果问题, W. Kjellman于1952年提出的一维问题最终效果, 1973年美国的威廉等人用流网解二维问题, 1983年苏联的Fer-Mertirosyan采用拉普拉斯方程求解, 日本的小林正树用有限元解三维问题, 所研究的都是最终效果问题, 属于稳定渗流问题。国内自80年代以来对真空排水预压的研究, 侧重

于真空排水预压的固结问题,属于非稳定渗流问题,如负压下固结理论。该理论认为,真空排水预压加固软土地基时,地基土的固结是在负压条件下进行的,它和在正压条件下即堆载预压固结问题基本相同,只是边界条件有差别,因此负压下的固结可以沿用原有固结理论的所有方程。国内工程界较多使用等效荷载理论,即假定真空排水预压加固软土地基,就相当于在地基上作用等于膜内外压差的等效荷载。

在最终效果和固结这两个基本问题上,国内外学者对这两方面虽然开展了研究,但并未完全解决这两个基本问题,而且单纯从最终效果角度或固结角度研究真空排水预压均无法完整揭示其加固机理。只有从最终效果和固结两方面出发才能系统阐述真空预压加固软土地基的机理,正确建立相应的分析模型和计算理论,才能解决目前工程应用中提出的问题,改进设计方法和施工工艺。

三、真空排水预压研究的两个层次

真空排水预压机理的研究内容可分为两个层次:一是真空排水预压加固软粘土试样的性状研究;二是真空排水预压加固软土地基的性状研究。两个层次研究内容的区别在于:前者的研究对象是软粘土试样,侧重于本身机理方面的研究;后者的研究必须建立在第一层次研究成果的基础上,同时又必须考虑地下水和竖向排水体等客观因素的存在对软土地基加固的影响,研究对象是软土地基,侧重于解决现场实际情况。国内外对真空排水预压机理的研究于这两个层次均有所涉及,但未明确区分,这也是导致目前学术界和工程界对真空排水预压加固机理认识不清晰的一个重要原因。

四、真空排水预压的室内试验和现场监测^[21~25]

真空排水预压的试验研究必须以室内试验和现场监测为基础。

真空排水预压的试验研究随着工法的提出就已经开始,我国早在50年代,807部队、哈尔滨军事工程学院及天津大学等单位就开展了一些室内外真空排水预压的试验研究。80年代以来,结合真空预压法的机理研究,许多学者开展了室内模型试验、离心模型试验、正负压对比试验及负压下固结试验和现场试验研究。在模拟现场实际情况方面,真空排水预压加固软土地基试验研究存在困难,如地下水的模拟、抽真空强度的模拟等。因此很多试验结果实际上反映的是真空排水预压第一层次的研究内容,不能直接说明实际问题。

真空排水预压的现场监测可以指导工程施工,并为真空排水预压研究和设计提供第一手的资料,是真空排水预压工法的重要组成部分。真空排水预压的监测项目较多,主要有表面沉降观测、分层沉降观测、水平位移观测、真空度观测(膜下真空度观测、竖向排水体内真空度观测及淤泥内真空度观测)、孔隙水压力观测及地下水位观测等。为检验真空排水预压加固效果,通常还进行钻孔取土的室内试验分析、现场十字板剪切试验、静力触探试验、静载荷试验等。近年来,随着真空排水预压加固软土地基工程的增加,报道了许多真空排水预压现场监测数据,为研究真空排水预压积累了一批资料。但现场监测资料大都缺乏系统性,往往难以说明问题;并且部分测试技术如深层真空度测试技术在测试原理上存在问题,使得测试结果难以反映实际情况。

真空排水预压现场监测方面的研究,应包括两个方面的内容:一方面,结合真空排水

预压机理的研究,开展新的监测项目,如进行真空排水预压出水量的监测,在每台射流泵上安装流量计,监测射流泵抽水量随时间变化情况,从而掌握整个加固区出水量随时间变化情况及时不同时期射流泵运行效果变化情况。在施工中动态调节射流泵使用数量,监测不同数量射流泵对真空排水预压效果的影响,即在确保膜下真空度基本相同的前提下,使用不同数量的射流泵,检验使用不同数量的射流泵时,地下水位、真空泵出水量等指标是否有所变化,对真空预压效果是否有影响,监测现场抽真空能量与真空预压效果之间的关系。另一方面,是对现场实测资料进行系统的研究分析,总结经验规律,为真空排水预压的机理研究提供实测依据。

五、真空排水预压加固软土地基的数值分析^[26~31]

许多学者在真空排水预压加固软土地基数值分析方面做了研究,但仍有许多问题未得到很好解决。一是竖向排水体的处理:是将竖向排水体视为稳定负压边界,或是按一定规律分布的负压边界,或是仅仅作为渗透系数很大介质,在真空排水预压数值分析中并未形成共识,也没有有效的理论和试验验证。二是地下水位下降的计算:现有数值分析方法均无法计算地下水位下降,更难以考虑地下水位下降在真空排水预压中的作用。三是抽真空能量对真空排水预压效果的影响:工程实践表明,在膜下真空度基本保持不变的情况下,射流泵使用越多,真空预压效果越好,而将抽真空表面视为恒定负压边界的数值分析方法无法反映这一现象。

真空排水预压加固软土地基基本控制方程与堆载预压相同,数值分析的难点在于边界条件的界定和地下水的影响的确定。

六、真空排水预压加固软土地基实用设计方法的研究^[32~33]

在我国,指导工程实践的主要是各行业及地区编制的相关规范及规程。现行有关真空排水预压法的规范较多,如JGJ 79—91《建筑地基处理技术规范》、JTJ 250—98《港口工程地基规范》、DBJ 08—40—94《上海市标准地基处理技术规范》等。现行规范主要偏重于施工要求,而对于真空预压法加固软土地基沉降及强度增长的计算,则基本上沿用了堆载预压法的思路,或在其基础上用经验系数加以修正。对于真空排水预压的若干问题,如加固的有效影响深度、地下水对真空排水预压的影响等问题,均未能说明或未提及。工程实践表明,按照现有规范指导真空排水预压的设计和施工,在竖向排水体平面布置及深度、射流泵的配置、沉降的计算、施工时沉降速率的控制及真空预压施工终止的要求等方面,均带有一定的盲目性和不易操作性。这都是由于对真空排水预压机理认识不清而造成的。因此,在研究真空排水预压机理的基础上发展真空排水预压实用设计方法,对真空排水预压的发展具有十分重要的意义。

七、真空排水预压加固软土地基工法的改进^[1~4]

典型的真空排水预压工法是在软土地基中打设竖向排水体,在表面设置水平向排水系统,然后覆盖薄膜,用射流泵抽气抽水以加固地基。其他形式的真空排水预压工法包括真空井点法、真空联合堆载法(膜上堆土或覆水)、真空排水预压结合降低地下水位法、真空

排水预压结合电渗法、真空排水预压结合碎石桩法及 IFCO 工法（用砂墙作为竖向排水体）等。在深入了解真空排水预压法加固软土地基机理的基础上，针对不同工程要求，改进真空排水预压工法，或将真空排水预压工法与其他工法结合起来使用，可增加该工法的适用性和有效性。

八、结语

真空排水预压工法的发展方兴未艾。一般而言，在处理要求不是很高的情况下，真空排水预压法在大面积软土地基处理上具有相当优势。真空排水预压联合堆载预压法在高速公路软土地基处理上具有其优越性。随着真空排水预压机理研究的不断深入，真空排水预压设计水平和施工方法的不断提高，其适用性会更广。

参 考 文 献

- 1 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册. 第二版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000
- 2 高大钊主编. 岩土工程的回顾与前瞻. 北京: 人民交通出版社, 2001
- 3 娄炎编著. 真空排水预压法加固软土技术. 北京: 人民交通出版社, 2002
- 4 Van Weele. International Lecture Series on Geotechnical Engineering for 21st Century. Hangzhou: Zhejiang University, 1999
- 5 Halton G R, Loughney R W, Winter E. Vacuum Stabilization of Subsoil Beneath Runway Extension at Philadelphia International Airport. Proc. of IV. ICSMFE. 1965. 61-65
- 6 Tang M and Shang J Q. Vacuum Preloading Consolidation of Yaoqiang Airport Runway. Geotechnique. 2000. 50 (6): 613-623
- 7 Chu J, Yan S W and Yang H. Soil Improvement by the Vacuum Preloading Method for An Oil Storage Staion. Geotechnique. 2000. 50 (6): 625-632
- 8 Shang J Q, Tang M and Miao Z. Vacuum Preloading Consolidation of Reclaimed Land: A Case Study. Can. Geotech. J.. 1998. 35 (7): 740-749
- 9 陈环, 鲍秀清. 负压条件下土的固结有效应力. 岩土工程学报. 1984. 6 (5): 39-47
- 10 陈环. 真空预压法机理研究十年. 港口工程. 1991. (4): 17-26
- 11 高志义. 真空预压法的机理分析. 岩土工程学报. 1989. 11 (4): 45-56
- 12 于志强, 朱耀庭, 喻志发. 真空预压法加固软土地基的影响区分析. 中国港湾建设. 2001. (1): 26-30
- 13 黄腾, 张迎春, 杨春林, 肖峰. 真空联合堆载加固软基的抗滑稳定性模型与应用. 水运工程. 2001. 325 (2): 11-15
- 14 李丽慧, 王清, 王剑平等. 真空排水预压下土体变形的应力路径分析. 工程地质学报. 2001. 9 (2): 170-173
- 15 董志良. 堆载及真空预压法加固地基地下水位及测管水位高度的分析与计算. 水运工程. 2001. 331 (8): 15-19
- 16 麦远俭. 真空预压加固中软粘土不排水剪切强度的增长. 水运工程. 1998. (12): 53-57
- 17 麦远俭, 刘成云. 软基预压加固中的体积应变、侧向位移与沉降修正. 水运工程. 2001. 331 (8): 7-11

- 18 娄炎. 真空排水预压法的加固机理及其特征的应力路径分析. 水利水运科学研究. 1990. (1): 99-106
- 19 薛红波, 娄炎. 砂井真空排水法加固饱和软土地基的强度特征. 水利学报. 1990. (6): 61-68
- 20 娄炎. 负压条件下软土地基的孔隙水压力. 水利学报. 1988. (9): 48-52
- 21 Leong E C, Soemitro R A A and Rahardjo H. Soil Improvement by Surcharge and Vacuum Preloading. Geotechnique. 2000. 50 (5): 601-615
- 22 高志义, 张美燕, 刘立钰等. 真空预压加固的离心模型试验研究. 港口工程. 1988. (1): 18-24
- 23 高志义, 张美燕, 张健. 真空预压联合电渗法室内模型试验研究. 中国港湾建设. 2000. (5): 58-61
- 24 张诚厚, 王伯衍, 曹永琅. 真空作用面位置及排水管间距对预压效果的影响. 岩土工程学报. 1990. 12 (1): 45-52
- 25 涂平晖, 杜文山, 张弥. 深厚层软土路堤涵基真空联合堆载预压试验研究. 中国公路学报. 2000. 13 (4): 29-32
- 26 Qian J H, Zhao W B and Cheung Y K, et al. The Theory and Practice of Vacuum Preloading. Computers and Geotechnics. 1992. 103-118
- 27 陈析, 周卫, 洪宝宁. 真空—堆载联合预压加固软基过程的数值分析. 南京理工大学学报. 2000. 24 (5): 457-461
- 28 沈珠江, 陆舜英. 软土地基真空排水预压的固结变形分析. 岩土工程学报. 1986. 8 (3): 7-15
- 29 林丰, 陈环. 真空和堆载作用下砂井地基固结的边界元分析. 岩土工程学报. 1987. 9 (4): 13-21
- 30 阎澍望, 陈环. 用真空加固软土地基的机制与计算方法. 岩土工程学报. 1986. 8 (2): 35-44
- 31 周顺华, 王炳龙, 李尧臣等. 真空排水固结法处理地基的沉降计算. 铁道学报. 2001. 23 (2): 58-60
- 32 高大钊主编. 岩土工程标准规范实施手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- 33 中华人民共和国行业标准, JTJ250—98 港口工程地基规范